

EQUIPOS de MEDIDA de CALIDAD ORGANOLÉPTICA en FRUTAS

RESUMEN

La medida de los parámetros de calidad en frutas ha evolucionado significativamente en los últimos años, incorporando modernos equipos de medida y nuevas tecnologías al sector hortofrutícola, que facilitan el control de la calidad de estos productos. En este artículo se revisan los principales parámetros de calidad, los diferentes equipos que se pueden emplear para medirlos y los futuros desarrollos científico, explicando brevemente su modo de funcionamiento.

Palabras clave: Equipos de medida, Fruta, Parámetros de calidad.

ABSTRACT

Measure equipment of sensory quality of fruits.

The control of fruit quality parameters has undergone a significant evolution along the last years, incorporating modern equipment and innovative technologies to the fruit and vegetables sector, to provide easier quality control. In this article, the main quality parameters are reviewed, along with the equipment that can be used to measure them and the future innovations, explaining briefly their working principles.

Key words: Fruits, Measure equipment, Quality parameters.

La calidad de los productos agrícolas es un factor cada vez más solicitado en los mercados desarrollados. Cuando hablamos de calidad de frutas no sólo debemos pensar en frutos sin daños, de aspecto homogéneo o de larga vida comercial: cada vez es más importante buscar la calidad que el consumidor desea de una fruta, es decir, buscar los niveles de calidad que el consumidor espera percibir a través de sus sentidos, aquello que conforma la calidad organoléptica en base a ciertos parámetros independientes. Los más importantes son: el sabor (contenido en azúcares, contenido en ácidos), la firmeza, el color (externo e interno) y el aroma.

Los productores y comerciantes de fruta pueden medir cada uno de estos parámetros con la ayuda de equipos de medida específicos, cuyo desarrollo y simplificación ha avanzado mucho en los últimos años. Una vez medidos los niveles de cada uno de estos parámetros, bastará con comparar con tablas

de referencia para clasificar la fruta y tomar las decisiones comerciales adecuadas.

En este artículo nos proponemos revisar los equipos de medida de los parámetros de calidad organoléptica, describir brevemente su funcionamiento y anotar las tendencias que se observan en los centros de investigación en cuanto a futuros equipos. En sucesivos artículos se recogerán, para cada especie frutal en particular, diversos estudios y recomendaciones sobre niveles de calidad organoléptica.

CONTENIDO EN AZÚCARES

Como cualquier profesional de la fruta sabe, los azúcares junto con la acidez constituyen el componente principal del sabor de la mayoría de las frutas.

A lo largo de la maduración, los azúcares totales van aumentando hasta el momento de la recolección para luego ir sufriendo leves oscilaciones

Constantino VALERO
Margarita RUIZ ALTISENT

Dpto. Ing Rural - ETSIA UPM
MADRID

durante el periodo de conservación. La sacarosa (disacárido de fructosa y glucosa) es el azúcar que más incide en las propiedades organolépticas. La sacarosa sólo aumenta hasta el momento de la recolección. Una vez que el fruto es separado del árbol aumenta ligeramente para luego ir disminuyendo. La glucosa también disminuye y la fructosa aumenta. Paralelamente, el almidón se degrada libera azúcares más sencillos (HERRERO y GUARDIA 1992).

Alcanzar niveles suficientes de azúcares no suele ser un problema en España por nuestras condiciones climáticas, pero varía sustancialmente de un año a otro.

Equipos de medida:

- **Refractómetro analógico** de tipo «catalajejo», que es el más usual.

- **Refractómetro digital** con pantalla de visualización de resultados.

Métodos de medida de azúcares

Azúcares totales: se estiman a través del índice refractométrico (IR, grados Brix) que es el % de sólidos solubles (en peso) contenido en el zumo. El IR se obtiene vertiendo unas gotas de zumo en la ventana del refractómetro; una vez leída la cifra de °Brix (y corregida la temperatura, si no lo hace automáticamente el aparato) se puede convertir el resultado de «% sólidos solubles» a «azúcares totales» (en gramos/litro de zumo) mediante la aplicación de unas tablas incluidas con el aparato.

Azúcares reductores: es un método mucho más preciso para estimar el contenido de azúcares del tipo glucosa y fructosa, pero es lento y sólo se recomienda su uso en laboratorio. Consiste en una valoración química del zumo al producirse una reacción redox cuando se le añaden los reactivos «Fehling A y B».

Tendencias futuras para su medición

Ya hay prototipos para medición instantánea y no destructiva de azúcares, aprovechando sus propiedades ópticas. Para ello se hace incidir luz infrarroja con un haz de fibras ópticas apoyado sobre el fruto, se analiza el espectro y se aplican modelos matemáticos calibrados para cada fruta. Estos prototipos ya han sido calibrados para manzana, tomate y mosto. Se están investigando otras técnicas, como la aplicación de láser o resonancia magnética nuclear.

CONTENIDO EN ÁCIDOS

La acidez es el otro factor fundamental que afecta al sabor. La fruta contiene diferentes ácidos orgánicos libres o en forma de nutrientes, siendo el más abundante en el caso de la manzana el ácido málico, el ácido cítrico en naranja y limones, el ácido tartárico en otras, etc.

Los ácidos se degradan rápidamente después de la recolección si la fruta se mantiene a temperatura ambiente. Este descenso de la acidez puede frenarse mediante frío o con atmósferas controladas.

La relación entre azúcares y ácidos es clara y se observa una evolución inversa en sus respectivas concentraciones: mientras los azúcares aumentan con la madurez, los ácidos disminuyen. Por ello han sido propuestos diversos índices de calidad que engloban el efecto de ácidos y azúcares en el sabor de la fruta. Por ejemplo el *índice azúcar/ácido* es la suma de los azúcares totales más diez veces el grado de acidez ($AzT + 10Ac$).

En la bibliografía se pueden encontrar datos sobre valores de acidez para algunas frutas, si bien faltan muchos datos para las distintas variedades, y en muchos casos estos valores sólo son exactos para la climatología del país donde fueron llevados a cabo los análisis.

Equipos de medida

- **Utensilios de valoración manual:** bureta de laboratorio + vaso + reactivos; equipamiento muy barato, pero frágil y farragoso.

- **Valorador automático:** bureta automática + electrodo + controlador + reactivos; equipo más costoso, pero automático y sólido.

Métodos de medida de ácidos

- **Acidez total valorable:** se mide mediante una neutralización química de todos los ácidos libres presentes en el zumo con una solución de NaOH (0,1N). Es un procedimiento de laboratorio que requiere un mínimo aprendizaje, y no puede ser sustituido por el uso de un «peachímetro», pues la acidez total y el pH son conceptos diferentes.

Esta acidez titulable normalmente se expresa en miliequivalentes por litro (= "meq / 1.000"). También se puede dar en gramos/litro del ácido orgánico dominante y en porcentaje (g ácido / 100 g zumo ó ml ácido / 100 ml de zumo) siendo ambos valores convertibles en meq / l mediante la masa molecular del ácido correspondiente (málico, cítrico o tartárico), y su valencia.

Tendencias futuras para su medición

Al igual que para azúcares y otros compuestos químicos, se están desarrollando prototipos basados en la espectrofotometría en el infrarrojo, para determinación no destructiva.

FIRMEZA

Es fundamental para la aceptabilidad de los frutos y para su posible almacenamiento. Depende del momento de recolección y de la temperatura de almacenamiento; puede relacionarse con el color externo.

La firmeza de los frutos va disminuyendo con el tiempo, pero esta disminución es más acusada cuanto más alta es la temperatura de almacenamiento. No todos los frutos evolucionan con igual velocidad, por lo que es fundamental el seguimiento de cada uno por separado. Como ejemplo, para aguacate se realizaron unos ábacos donde se representan las curvas de reducción de la firmeza en función de la temperatura. Estas curvas resultan muy útiles para poder planificar aspectos como:

- Los períodos óptimos de almacenamiento, midiendo la firmeza inicial y en función de la temperatura de almacén se determina el período máximo de almacenamiento.

- El momento en que el producto ha de ser puesto a la venta.

- Según la temperatura del punto de venta, prever el período máximo de venta.

El valor inicial de ambos parámetros (firmeza y color) varía de una campaña a otra. Sin embargo la evolución del color de la piel y la firmeza una vez recolectada la fruta son paralelas. Están relacionadas, de forma que al conocer cómo va variando el color con el tiempo se podría predecir cómo varía la firmeza y viceversa. No obstante, como el color depende de otros factores climáticos esta relación puede sufrir notables desviaciones entre campañas.

CUADRO 1

Compuestos volátiles que forman parte de los aromas de las manzanas

ESTADO FENOLÓGICO TÍPICO	DESCRIPCIÓN AROMÁTICA	COMPUESTOS VOLÁTILES
	Ester	Etil-butanoato
	Tierra	Etil-2-Metil-butanoato
Madurez	Aroma frutal	n-Amilacetato, Etil-propionato, Butil-acetato, Etil-acetato, Propil-acetato, Etil-butilato, Etil-2-metilbutirato
	Típico a manzana	Hexil-acetato, propil-propionato, pentil-acetato, butil-butilato, etil-hexanoato
	Como anisado	4-methoxialil-benceno
	Aroma dulce	2-metilbutilacetato, butanol, hexanol
Maduración	Manzana roja	2-metilbutilacetato, butanol,
	Acidez picante	Acetaldehído
	Amargo	Trans-2-hexanal, butil-propionato
	Podrido	3-metilbutil butirato, butil 3-metilbutirato
Fruto verde		Hexanal
Escaldado		α -Farneseno

Equipos de medida

La firmeza se puede determinar mediante:

- **Durómetros** medidores de deformación (no destructivos): según el modelo, están basados en el desplazamiento de una pequeñísima bola o de un pequeño cilindro al ser presionados sobre el fruto. Funcionan muy bien con frutos de carne blanda (melocotón, albaricoque...) y poseen la ventaja de su reducido tamaño y bajo precio. No son muy precisos en frutos de pepita.

- **Equipos de impacto** (no destructivos): consiste en golpear ligeramente la fruta con un dispositivo dotado de un acelerómetro, y calcular con un ordenador parámetros como la deformación en el punto de impacto, la aceleración, etc. Las ventajas de este método son que la fruta no se daña y que el dispositivo electrónico es pequeño, barato y fácilmente adaptable a cualquier ordenador. Se encuentra en desarrollo un impactador manual.

- **Penetrómetro manual** Magness-Taylor (destructivo): consiste en un dinamómetro acoplado a un vástago que se introduce 8 mm en la pulpa de la fruta después de quitar la piel. Es barato pero inexacto.

- **Texturómetro** de laboratorio (destructivo): equipo conectado a un PC con el que se puede hacer el ensayo Magness-Taylor y otros muchos (punción, compresión, corte...); aporta mucha más información y es versátil, pero costoso y no portátil.

Métodos de medida de firmeza

Existen distintas técnicas de medida de firmeza, basadas en diferentes propiedades mecánicas: penetración, compresión, punción, deformación, impacto controlado, etc.

En general, en los ensayos tradicionales de firmeza (penetración, punción o compresión, ver *Gráfico 2*) se mide la fuerza que opone la fruta al ser perforada o comprimida cierta profundidad de deformación. Sin embargo el valor absoluto de la fuerza no es un indicador fiable de la dureza de un fruto, por la variabilidad intrínseca de los métodos de ensayo (como el Magness-Taylor) y la cantidad de factores que afectan a la medida. Resulta mucho más adecuado el uso del cociente (Fuerza máxima / Deformación en $F_{m\acute{a}x.}$) = pendiente de la curva, ya que es más preciso (repetible) y está menos influido por las imprecisiones del ensayo.

La firmeza se expresa en Newtons de fuerza (1 kg \approx 10 N), o en Newtons

por cada mm de deformación producida.

Veamos brevemente algunas características adicionales de varios ensayos tipo:

Ensayo de penetración Magness Taylor

Consiste en introducir un cilindro de 8 u 11 mm de \varnothing , hasta una profundidad de 8 mm en la pulpa de la fruta después de quitar la piel. Puede realizarse manualmente con un penetrómetro o en laboratorio controlando la velocidad de penetración (20mm/min) con un texturómetro.

Es muy variable (Coeficiente de Variación 15-30%). Hay bastantes datos en la bibliografía porque ha sido el método tradicional empleado y sigue siendo la referencia usada. Este ensayo se suele utilizar para determinar el momento de la recolección usando los pequeños dispositivos manuales en campo.

Mediante este ensayo se determina la firmeza como resistencia a penetración, compuesta por la resistencia a la deformación y al esfuerzo cortante. El efecto aportado por la compresión es del 60 - 95%, mucho mayor que el del corte. Sin embargo las diferencias en las fuerzas de penetración parecen ser atribuibles casi exclusivamente a las diferencias en la componente cortante, relacionadas con cohesión entre células y grosor de las paredes celulares (PELEG y GÓMEZ 1975; JARÉN 1994).

Los datos de Magness Taylor que se dan comúnmente en Newtons para penetración con vástago de 11 mm \varnothing (de 1 cm² de área de contacto) para manzana, y de 8 mm \varnothing (de 0,5 cm²) para melocotón. También se puede expresar en kilos o libras (1 lb = 0,453 kg \approx 4,53 N) dividido por la superficie de contacto del punzón usado. En cualquier caso es recomendable indicar el tipo de elemento empleado para el ensayo y expresar la medida en unidades internacionales.

Ensayo de punción

Es un ensayo similar al de penetración, pero en el que se introduce una aguja de

0,5 ó 1mm Ø en la fruta, a 20mm/min de velocidad, sin quitar antes la piel. La representación gráfica es análoga a la de la penetración, pero con una caída más brusca de la fuerza al producirse la rotura de la piel. Por ello, en este ensayo se puede relacionar la pendiente (N/mm) de la gráfica hasta rotura con la firmeza de la pulpa, y la fuerza máxima alcanzada (N) con la resistencia opuesta por la piel.

Es un ensayo muy adecuado para frutos pequeños o con líquidos internos (albaricoque, tomate, cereza, uva). Ha de realizarse con un texturómetro de laboratorio.

Ensayo de deformación puntual

En él se basan pequeños aparatos portátiles como el Durofel del CTIFL (deformación producida por un pequeño cilin-



Equipos de medida de parámetros de calidad en frutas de (dcha.a izq.): texturómetro para medir firmeza, ordenador y consola de control, valorador automático de ácidos y refractómetro digital para azúcares, en primer plano.

dro), el «bolígrafo» del INRA francés (deformación producida por una bolita) y otros prototipos de entidades diversas. Muchos de ellos pueden ser usados de forma manual o conectados a una terminal electrónica que ofrece la medida

digital y puede intercambiar información con un ordenador. Son no destructivos y baratos, pero funcionan peor con fruta de pepita o de piel gruesa.

Ensayos de respuesta al impacto

Es menos variable que los ensayos de penetración. A lo largo de los últimos años se han acumulado gran cantidad de datos de respuesta a impacto durante la maduración, postrecolección, para diversas especies vegetales, como manzana, pera, aguacate, melocotón, albaricoque, melón, etc. El ejemplo citado anteriormente de va-

riación de firmeza en el aguacate se desarrolló con ensayos de impacto.

En nuestro laboratorio se ha desarrollado un sistema de detección de firmeza mediante impactos de baja energía, ya

patentado. En la actualidad está en funcionamiento un prototipo más avanzado y robusto, de fácil implantación en una línea de clasificación automatizada. También se está desarrollando uno manual.

Tendencias futuras para su medición

Los ensayos de tipo mecánico tienden cada vez más a ser no destructivos, usando impactadores de pequeña masa o dinamómetros de deformación puntual. Otras técnicas más avanzadas son la resonancia acústica (registro del sonido producido al golpear el fruto), la espectroscopía (propiedades ópticas) y la resonancia magnética nuclear.

COLOR

En la medición del color, lo primero que debemos distinguir es el color de fondo de una fruta de los colores secundarios característicos de cada variedad. El color de fondo o primario es el color dominante de toda la superficie de la fruta, mientras que el color secundario es el que se presenta en ciertas zonas del fruto siendo identificativo de cada variedad. En ocasiones al color secundario se le denomina chapa, veteado o moteado.

En general hay pocos datos de color en la bibliografía; sólo para algunas variedades existen cartas de color, comercializadas por ciertas instituciones como la CTIFL francesa. Para cada variedad se expresa la distribución del color y la intensidad de coloración en función de la madurez.

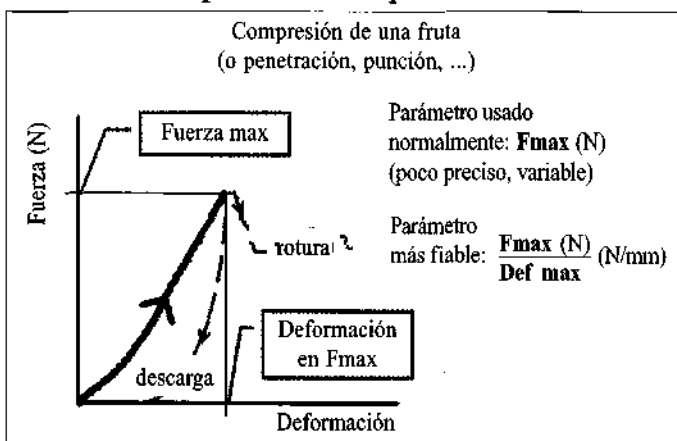
El color de las pepitas es un claro indicativo del grado de madurez de un fruto. De forma general cuando las pepitas tienen su color final en un 75%, el fruto tiene buena calidad gustativa y capacidad óptima de almacenamiento.

Equipos de medida

- **Cartas de color:** constituidas por múltiples tarjetas coloreadas, según las

GRÁFICO 1

Representación genérica de la evolución de la fuerza opuesta por un fruto frente a la deformación producida, en un ensayo de compresión, penetración o punción



distintas tonalidades que puede presentar el fruto a lo largo de su maduración. Son específicas de cada especie vegetal y de cada variedad comercial. Pueden confeccionarse en laboratorio y fabricarse de encargo a empresas gráficas especializadas.

- **Colorímetro portátil:** es un equipo electro-óptico de coste relativamente bajo y de pequeño formato, que otorga una gran precisión a la medida del color y del espectro óptico.

- **Cámaras de vídeo:** en la actualidad se instalan en líneas de clasificación de fruta para automatizar la medición del color de todo el producto procesado. Son cámaras de color CCD que se conectan a un ordenador para controlar la adquisición de imágenes y realizar los cálculos pertinentes.

Métodos de medida del color

El color puede usarse para clasificar la fruta según tres criterios:

- usando un sistema de color creado por el propio usuario (ej. muy amarillo, amarillo y verde) y realizando una evaluación visual de la fruta. Para eliminar subjetividad se puede crear un catálogo fotográfico de cada tipo de fruta y hacer la clasificación mediante la adjudicación de índices numéricos.

- usando unas tablas estándar de color para cada fruta (ej. cartas de color de manzanas *Starking*) como las recomendadas por diversas instituciones para hacer una evaluación visual del color. Tanto en este caso como en los otros es importante definir el punto de la fruta donde se debe medir el color, especialmente para fruta con coloración heterogénea, y elegir la iluminación adecuada.

- usando un sistema internacional de expresión del color: mediante una medida analítica con un colorímetro o cámara se recoge la distribución espectral y se expresa

con coordenadas de color numéricas en uno de los distintos sistemas usados.

Los sistemas numéricos de representación del color suponen diversos intentos por parte de la comunidad científica para eliminar la subjetividad en la percepción del color. Todos usan tres números (3 ejes) pero difieren en su significado, debido a la aplicación para la que fueron creados. Los sistemas más comunes para expresar el color son:

- **RGB:** siglas de *red, green & blue* (rojo, verde y azul). Como su nombre indica, expresan la cantidad de pigmento que tiene la muestra de esos tres colores primarios. Es el sistema que usan muchas cámaras digitales, por la naturaleza de sus sensores ópticos.

- **Lab CIE:** es el que más se asemeja al funcionamiento del ojo humano y por ello es muy adecuado para caracterizar el color de la fruta. La coordenada «L» expresa el grado de luminosidad del color medido (L = 100 = blanco, L = 0 = negro); la coordenada «a» expresa el grado de rojo y verde («a» más negativa = más verde; «a» más positiva = más rojo) y la coordenada «b» expresa el grado de azul y amarillo (de forma análoga, «b» más negativa = más azul; «b» más positiva = más amarillo).

- **XYZ:** es un sistema mucho más teórico, basado en conceptos físicos

del espectro luminoso, y por tanto de interpretación más difícil. De forma aproximada, la «Y» indica la luminosidad, la «Z» el nivel de azul y la «X» el nivel de rojo.

- **% Reflectancia:** en muchos casos tiene interés la medición completa del espectro visible (desde 400nm a 700nm) y en especial el nivel de reflexión (R%) en dos puntos del espectro: 480nm (menor R% → mayor contenido en carotenos → color más rojo), 680nm (menor R% → mayor contenido en clorofilas → color más verde).

AROMAS – OLOR

El olor es un parámetro de calidad que está siendo estudiado en la actualidad. Diversos equipos de investigación en todo el mundo se están dedicando a buscar cuáles son los compuestos químicos volátiles que afectan al aroma de las frutas, ya que el aroma de un fruto es la composición de numerosas sensaciones olfativas generadas por distintas moléculas. En el *Cuadro 1*, construido a partir de datos bibliográficos recientes, se recogen algunos de estos compuestos, y se relacionan con el tipo de aroma que producen y el estado fenológico en el que aparecen, en el caso de la manzana.

Como puede verse, el estudio del aroma es complejo y mucho más su relación con las sensaciones organolépticas que el consumidor aprecia. Para su correcto estudio es necesario coordinar a equipos de investigación multidisciplinarios, en los que colaboren expertos sensoriales (paneles de catadores entrenados, científicos habituados a la definición de descriptores organolépticos...) con equipos de analistas químicos de gran precisión y diseñadores de sensores de alta tecnología.

Tendencias futuras para su medición

El aroma es un parámetro de calidad que está empezando a ser medido en los últimos años. Por ello no podemos hablar de equipos de medida disponibles, sino sólo de tendencias futuras para su medición.

En los últimos años están apareciendo noticias diversas sobre el desarrollo de las llamadas «narices artificiales», capaces de reconocer aromas en diversos materiales agrícolas. Estos dispositivos electro-químicos son **biosensores** que generan impulsos eléctricos cuando están en presencia de cierta molécula volátil, con la que reaccionan químicamente. Lo ideal sería que existiera un sensor de aroma específico de cada compuesto volátil, para poder caracterizar completamente el olor de una fruta. Sin embargo, estos sensores no son todavía suficientemente específicos y presentan otros problemas como la saturación (similar a la que puede sufrir la nariz humana al oler mucha cantidad de un aroma). Queda pues mucho por investigar en los aromas de las frutas y por desarrollar en los sensores para medirlos.

CONTENIDO EN ALMIDÓN

Durante la maduración de fruta de pepita (manzanas, peras...) las reservas de almidón del fruto se van transformando en azúcares por hidrólisis. El grado de desaparición del almidón indica el estado de madurez alcanzado.

Este método es útil para indicar la falta de madurez en el fruto, pero no es muy preciso para indicar la madurez adecuada para conservación frigorífica. En España, el contenido en almidón no tiene mucha importancia porque nuestra climatología hace que prácticamente todo el almidón evolucione hacia azúcares solubles.

Hay factores que disminuyen su fiabilidad, baja proporción de hojas por fruto y/o tiempo caluroso y soleado determinan que se degrade el almidón en mayor proporción. (JAREÑ, 1994). Este método está recomendado para determinar madurez en manzanas pero no en peras.

Equipos de medida del almidón

- **Utensilios de laboratorio:** tintura de iodo + cartas patrón. La evaluación es visual.

- **Equipo portátil de medición automática:** desarrollado por el CEMA-

GREE, está dotado de una cámara en blanco y negro para clasificar la imagen de la sección de fruta coloreada, por comparación con una escala estándar. Esto elimina subjetividad y automatiza el proceso, pero la técnica es la misma.

Métodos de medida

- **Almidón:** mediante comparación de la fruta coloreada con yodo con unas cartas patrón se adjudica un valor de la escala (1 negro - 10 blanco). Para ello hay que cortar la fruta por la mitad y poner en contacto la pulpa con una solución de yodo-yoduro.

Tendencias futuras para su medición

Es de esperar que técnicas no destructivas como la resonancia magnética nuclear den resultados en este campo en el futuro.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la *Dirección General de Investigación de la Comunidad Autónoma de Madrid* su financiación y apoyo a la investigación, sin el cual no podrían divulgarse resultados científicos como los aquí expuestos (Proyecto 06G/015/96).

BIBLIOGRAFÍA

- RUIZ ALTISENT, M. ; BARRERO, P. (1996). Propiedades mecánicas y calidad de frutos. Definiciones y medidas instrumentales, *Fruticultura Profesional* nº77.
- VARIOS AUTORES. (1982) Taste quality in fruit: practical methods of analysis, publicación del CEMAGREF.
- PLANTON, G. (1996). Mesurer la qualité des fruits. *Infos CTIFL* nº124.
- RUIZ ALTISENT y COLABORADORES (1996). Manual de referencia sobre parámetros de calidad en frutas, Dpto. Ing. Rural - ETSIA.